



## EDF R&D

ENERGIE DANS LES BATIMENTS ET LES TERRITOIRES

GESTION D'ENERGIE ET SYSTEMES ELECTRIQUES

Avenue des Renardières - Ecuelles - 77818 MORET SUR LOING CEDEX, +33 (1) 60 73 60 73

6 mai 2014




### Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica

Frederic GASTIGER

<b>H-E13-2014-00591-FR</b>	<b>1.0</b>		
<p>Cette note présente la modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica. Ce bâtiment est composé de 3 logements-types, représentatifs du parc de logements français : un appartement type F1 de 29 m<sup>2</sup> (logement Picasso), un appartement type F3 de 66 m<sup>2</sup> (logement Matisse) et un appartement type F5 de 95 m<sup>2</sup> (logement Gauguin).</p> <p>La modélisation se base sur le "Catalogue de logements types" présentés dans la note H-E10-1996-02908-FR et utilise les modèles de composants élémentaires (parois, vitrages,...) développés dans la bibliothèque BuildSysPro.</p> <p>L'accent a été placé sur la simplicité de paramétrage du modèle (essentiellement choix de l'année de construction du logement).</p> <p>Le comportement du modèle est comparé aux résultats de la note « Catalogue de logements types », notamment vis-à-vis des déperditions du logement.</p> <p>Ce modèle peut être réutilisé dans le cadre d'études concernant les logements collectifs.</p>			

<b>EDF R&amp;D</b>	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	<b>H-E13-2014-00591-FR</b> <b>Version 1.0</b>
--------------------	---	--

### Circuit de validation

<b>Auteur</b>	Frederic GASTIGER	30/04/14	
<b>Vérificateur</b>	Gilles PLESSIS	30/04/14	
<b>Approbateur</b>	Joseph OJALVO	05/05/14	

### Pré-diffusion

<b>Destinataire</b>

<b>Code Affaire</b>	
---------------------	--

<b>EDF R&amp;D</b>	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	<b>H-E13-2014-00591-FR</b> <b>Version 1.0</b>
--------------------	---	--

## Liste de diffusion

## Groupe destinataire

E12-RP	
E13-GESE	
E14-SEEB	

[illegible]

EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

## AVERTISSEMENT / CAUTION

L'accès à ce document, ainsi que son utilisation, sont strictement limités aux personnes expressément habilitées par EDF.

EDF ne pourra être tenu responsable, au titre d'une action en responsabilité contractuelle, en responsabilité délictuelle ou de toute autre action, de tout dommage direct ou indirect, ou de quelque nature qu'il soit, ou de tout préjudice, notamment, de nature financière ou commerciale, résultant de l'utilisation d'une quelconque information contenue dans ce document.

Les données et informations contenues dans ce document sont fournies "en l'état" sans aucune garantie expresse ou tacite de quelque nature que ce soit.

Toute modification, reproduction, extraction d'éléments, réutilisation de tout ou partie de ce document sans autorisation préalable écrite d'EDF ainsi que toute diffusion externe à EDF du présent document ou des informations qu'il contient est strictement interdite sous peine de sanctions.

-----

The access to this document and its use are strictly limited to the persons expressly authorized to do so by EDF.

EDF shall not be deemed liable as a consequence of any action, for any direct or indirect damage, including, among others, commercial or financial loss arising from the use of any information contained in this document.

This document and the information contained therein are provided "as are" without any warranty of any kind, either expressed or implied.

Any total or partial modification, reproduction, new use, distribution or extraction of elements of this document or its content, without the express and prior written consent of EDF is strictly forbidden. Failure to comply to the above provisions will expose to sanctions.

EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

## Synthèse

### Objectif

Cette note présente la modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica. Ce bâtiment est composé de 3 logements type, représentatifs du parc de logements français : un appartement de type F1 de 29 m<sup>2</sup> (logement Picasso), un appartement type F3 de 66 m<sup>2</sup> (logement Matisse) et un appartement type F5 de 95 m<sup>2</sup> (logement Gauguin).

Le comportement du modèle est comparé aux résultats de la note « Catalogue de logements types » (H-E10-1996-02908-FR), notamment vis-à-vis des déperditions du logement.

### Démarche

La modélisation a été réalisée sous Modelica, grâce au logiciel Dymola et à la bibliothèque de composants élémentaires BuildSysPro, développée par EnerBat.

Les caractéristiques du bâtiment sont tirées du « catalogue de logements types », qui fournit une typologie du parc résidentiel français, aussi bien en individuel qu'en collectif. La modélisation est purement thermique (pas de modélisation aéraulique) en utilisant les modèles de composants élémentaires développés dans BuildSysPro (parois opaques, vitrages,...).

Dans un premier temps, chacun des logements types est modélisé, par caractérisation des parois (type de matériaux, épaisseur, surface,...) du logement. Une fois que chaque logement a été modélisé, un assemblage représentant un étage générique est réalisé, puis le bâtiment complet, modélisé sur 3 niveaux (R+2), est constitué.

Chaque logement peut être caractérisé par sa date de construction, qui renvoie à une réglementation thermique particulière. 5 niveaux de réglementation ont été implémentés : bâtiment datant d'avant 1974, bâtiment conforme à la RT 1974, à la RT 1982, à la RT 1989 et à la RT 2000. Chaque niveau de réglementation induit des modifications au niveau du choix des matériaux (type et épaisseur de l'isolant, performance du double-vitrage,...), des infiltrations, et des ponts thermiques.

Par ailleurs, deux choix de modélisation de la zone « palier » sont possibles :

- Une modélisation « simplifiée » qui suppose que le palier est une zone chauffée à température constante. Cette hypothèse permet de s'affranchir d'une modélisation détaillée du palier (modélisation paroi par paroi).
- Une modélisation plus détaillée, qui suppose que le palier ne dispose pas d'émetteur de chauffage. Dans ce cas, la zone « palier » est modélisée en détails, notamment via la caractérisation des parois en contact avec l'extérieur.

Le modèle a été conçu pour favoriser la simplicité de paramétrage du modèle : l'utilisateur renseigne uniquement le niveau d'isolation du logement (Date de la RT en vigueur lors de la construction) et le type de modélisation employée pour le palier.

### Résultats

Pour évaluer le comportement du modèle réalisé, une étude a été menée pour comparer le modèle aux résultats fournis par le « catalogue de logements types », notamment vis-à-vis des déperditions.

Les valeurs du GV\* pour chacun des logements, en fonction de l'année de construction, est fourni dans le tableau ci-dessous. Les résultats ont été établis avec une modélisation simplifiée du palier, i.e. le palier est supposé chauffé à la même température que les logements.

*\* Le GV s'exprime en W/K et représente la puissance thermique perdue par le logement en régime permanent lorsque la température de celui-ci est 1°C supérieure à la température extérieure, sans apports solaires. Les déperditions du logement valent alors :*

$$\text{Déperditions} = GV^* (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

GV (W/K)	Avant 1974	RT 1974	RT 1982	RT 1989	RT 2000
Gauguin R+0	372,8	198,6	167,2	145,4	131,4
Gauguin R+1	352,1	166,8	138,6	113,6	102,3
Gauguin R+2	397,7	206,2	168,4	156	137
Matisse R+ 0	230,3	130,1	108,8	95,1	86
Matisse R+1	216,7	108,9	89,4	73,9	66,7
Matisse R+2	247,3	135,2	109,2	102,3	89,8
Picasso R+0	147,6	70,7	60,6	55,2	50,2
Picasso R+1	140,1	59,9	50,6	44,4	40,2
Picasso R+2	154,7	72,7	60,4	58	51,5

Au-delà de ces valeurs absolues, qui permettent d'évaluer la performance énergétique intrinsèque de chaque logement, il est intéressant de comparer les résultats aux valeurs fournies par la note qui a servi de référence à l'établissement de ce modèle. Les valeurs relatives sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Comp	Avant 1974	RT 1974	RT 1982	RT 1989	RT 2000
Gauguin R+0	-7,72%	0,30%	9,28%	-6,19%	-5,81%
<b>Gauguin R+1</b>	<b>-3,00%</b>	<b>-2,46%</b>	<b>0,43%</b>	<b>0,53%</b>	<b>0,59%</b>
Gauguin R+2	-2,76%	4,14%	15,34%	2,63%	0,15%
Matisse R+0	13,45%	0,85%	1,68%	-0,94%	-0,46%
<b>Matisse R+1</b>	<b>25,99%</b>	<b>8,90%</b>	<b>11,75%</b>	<b>10,30%</b>	<b>10,61%</b>
Matisse R+2	22,43%	8,16%	10,30%	7,68%	5,03%
Picasso R+0	1,79%	21,90%	28,94%	2,22%	3,29%
<b>Picasso R+1</b>	<b>7,77%</b>	<b>8,91%</b>	<b>10,00%</b>	<b>11,00%</b>	<b>11,67%</b>
Picasso R+2	7,43%	25,34%	28,51%	9,43%	7,97%

Les écarts sont relativement importants, mais proviennent dans une grande majorité des cas, à une divergence au niveau des hypothèses de modélisation (architecture globale du bâtiment différente, particularités non représentées,...).

## Perspectives

La simplicité de paramétrage du modèle permet à tout utilisateur de pouvoir réutiliser simplement le modèle dans le cadre d'études plus larges, par exemple des études sur le comportement thermique des bâtiments collectifs, sur les transferts de chaleur entre appartements,...

De plus, la modularité du langage Modelica permet d'envisager une réutilisation des modèles intermédiaires développés, pour faire évoluer le modèle (ajout de nouvelles réglementations thermiques) ou pour modéliser de nouveaux bâtiments.

<b>EDF R&amp;D</b>	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	<b>H-E13-2014-00591-FR</b> <b>Version 1.0</b>
--------------------	---	--

## Executive Summary

EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

## Sommaire / Summary

<b>PAGE DE GARDE .....</b>	<b>I</b>
<b>CIRCUIT DE VALIDATION .....</b>	<b>II</b>
<b>PRE-DIFFUSION .....</b>	<b>II</b>
<b>LISTE DE DIFFUSION .....</b>	<b>III</b>
<b>AVERTISSEMENT / CAUTION .....</b>	<b>1</b>
<b>SYNTHESE .....</b>	<b>2</b>
<b>EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>4</b>
<b>SOMMAIRE / SUMMARY .....</b>	<b>5</b>
<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIFS .....</b>	<b>6</b>
<b>2. DESCRIPTION GENERALE DU BATIMENT .....</b>	<b>6</b>
2.1. PRESENTATION D'UN ETAGE TYPE .....	6
2.2. DESCRIPTION DES APPARTEMENTS .....	7
2.2.1. <i>Appartement Gauguin</i> .....	7
2.2.2. <i>Appartement Matisse</i> .....	8
2.2.3. <i>Appartement Picasso</i> .....	9
2.2.4. <i>Palier</i> .....	9
<b>3. CARACTERISATION TECHNIQUE DU BATIMENT .....</b>	<b>10</b>
3.1. DESCRIPTION DES MATERIAUX UTILISES .....	10
3.2. DESCRIPTION DES PAROIS .....	11
3.3. CALCUL DES PONTS THERMIQUES .....	13
3.4. RENOUELEMENT D'AIR .....	13
<b>4. MODELISATION SOUS MODELICA .....</b>	<b>14</b>
4.1. MODELISATION DES APPARTEMENTS .....	14
4.2. MODELISATION DU PALIER .....	15
4.3. MODELISATION DU SOUS-SOL .....	15
4.4. CONSTITUTION DU MODELE D'ETAGE ET DU MODELE DE BATIMENT .....	15
<b>5. CALCUL DE LA PERFORMANCE THERMIQUE DU BATIMENT .....</b>	<b>16</b>
5.1. CALCUL DU GV .....	16
5.2. COMPARAISON AUX VALEURS « DE REFERENCE » .....	17
<b>6. ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE LA MODELISATION DE LA ZONE « PALIER » .....</b>	<b>18</b>
6.1. ÉTUDE DES DEPERDITIONS EN REGIME PERMANENT .....	19
6.2. ÉTUDE EN EVOLUTION LIBRE .....	20
6.3. ÉTUDE EN EVOLUTION REGULEE .....	21
<b>7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>22</b>
<b>8. ANNEXE .....</b>	<b>23</b>
8.1. CALCUL DETAILLE DES PONTS THERMIQUES .....	23
8.1.1. <i>Appartement Picasso</i> .....	23
8.1.2. <i>Appartement Matisse</i> .....	24
8.1.3. <i>Appartement Gauguin</i> .....	25



EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

## 1. Contexte et objectifs

Cette note présente la modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica. Ce bâtiment est composé de 3 logements type, représentatifs du parc de logements français : un appartement de type F1 de 29 m<sup>2</sup>, un appartement type F3 de 66 m<sup>2</sup> et un appartement type F5 de 95 m<sup>2</sup>.

Le modèle se base sur les données fournies dans la note H-E10-1996-02908-FR qui caractérise plusieurs logements types du parc. La modélisation est effectuée zone par zone, en modélisation purement thermique (pas de modélisation aérodynamique), à partir des modèles de composants élémentaires (parois opaques, vitrages, ponts thermiques, matériaux,...) développés dans la bibliothèque BuildSysPro par le département EnerBat.

Le comportement du modèle est comparé aux résultats de la note citée plus haut, notamment vis-à-vis des déperditions des logements.

Grâce à une approche volontairement générique, le modèle est destiné à diverses études, notamment des études d'effacement ou des études paramétriques.

## 2. Description générale du bâtiment

Le bâtiment qui a été retenu pour la modélisation sous DYMOLA reprend en grande partie les caractéristiques du logement collectif type décrit dans la note « Catalogue de logements-types » (H-E10-1996-02908-FR).

### 2.1. Présentation d'un étage type

Le bâtiment est constitué de 3 étages (type R+2), disposant chacun de trois appartements et un palier. Le plan d'un étage type est présenté ci-dessous.

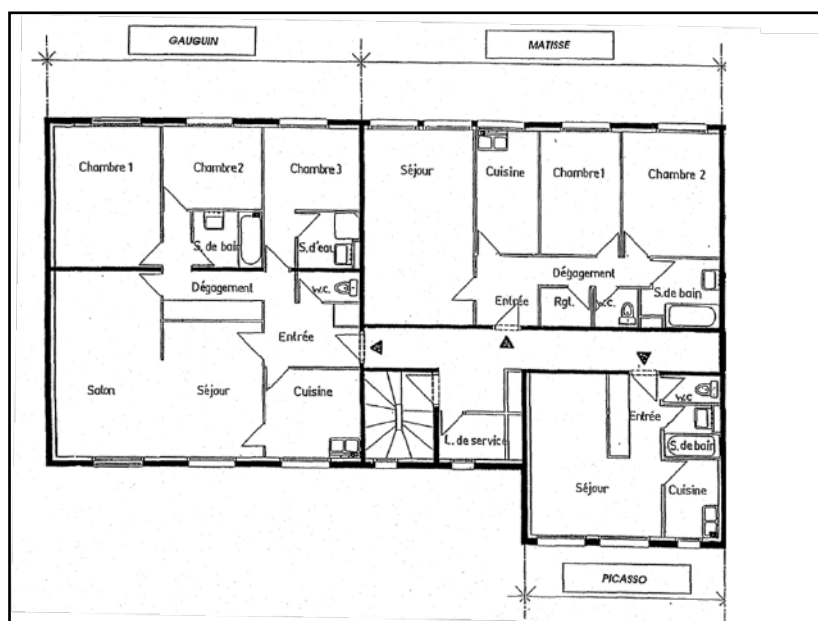
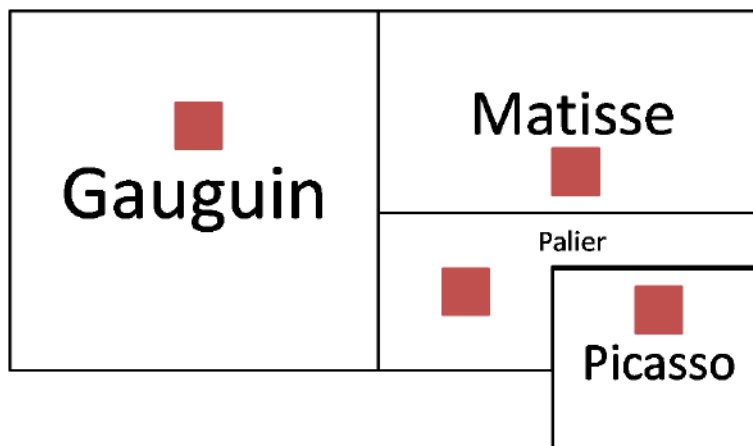


Figure 1 : Plans d'un étage type du logement collectif

Schématiquement, chaque étage peut donc être représenté avec 4 zones thermiques indépendantes : une pour chaque appartement et une pour le palier :



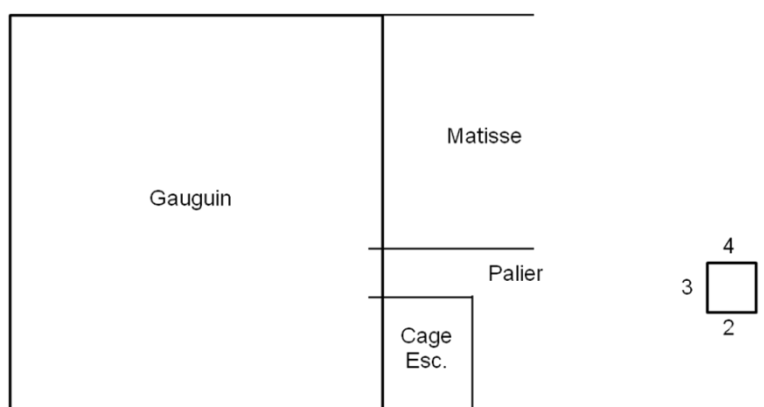
## 2.2. Description des appartements

Chaque étage se compose d'un appartement type F4 (Gauguin), d'un appartement type F3 (Matisse) et d'un appartement type F1 (Picasso). L'orientation de référence du bâtiment est Nord-Sud, c'est-à-dire que le logement Matisse est orienté au Nord, le logement Gauguin dispose d'une double exposition Nord-Sud et le logement Picasso a des vitrages donnant au Sud.

### 2.2.1. Appartement Gauguin

Conformément à la note H-E10-1996-02908-FR, la surface de l'appartement Gauguin est de 95 m<sup>2</sup>. L'appartement se compose de 4 pièces principales (1 séjour-salon et 3 chambres) et dispose d'une double exposition (typiquement Nord-Sud). L'appartement possède 3 parois en contact avec l'extérieur, tandis que la quatrième paroi est en contact avec l'appartement Matisse, le palier et la cage d'escalier.

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques de chaque paroi du logement, à savoir sa surface et le type de paroi utilisée. La caractérisation des différents types de parois est donnée dans la paragraphe 3.1. Dans le cas de l'orientation de référence, la paroi 1 donne à l'Est.



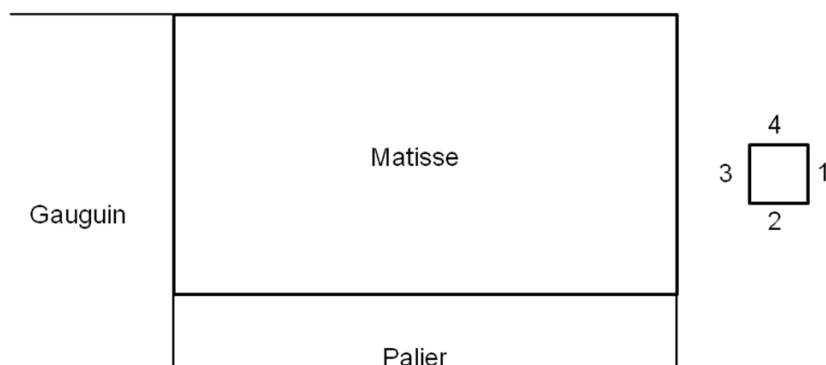
Paroi	Surface (m <sup>2</sup> )	Type de paroi
Mur Matisse "1"	12,28	Mur mitoyen
Mur Palier "1"	1,46	Mur Palier
Mur Cage "1"	6,89	Mur ext.
Mur ext "2"	17,01	Mur ext.
Mur ext "3"	25,25	Mur ext.
Mur ext "4"	16,83	Mur ext.
Vitrage "2"	7,05	Vitrage
Vitrage "4"	7,05	Vitrage
Refends	15,75	Mur porteur
Cloisons	49,88	Cloison légère
Portes int.	15	Porte intérieure
Porte entrée "1"	1,6	Porte entrée

**Tableau 1 : Description des parois verticales du logement Gauguin**

### 2.2.2. Appartement Matisse

L'appartement Matisse est de type F3, pour une surface au sol de 66 m<sup>2</sup>. 2 parois sont en contact avec l'extérieur, une avec le palier et une avec l'appartement Gauguin.

La description des parois est donnée dans le tableau ci-dessous.

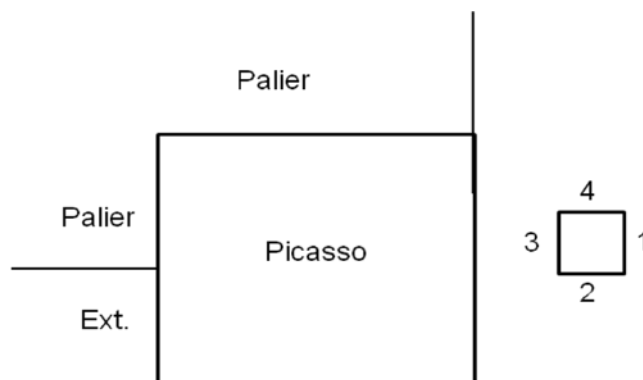


Paroi	Surface (m <sup>2</sup> )	Type de paroi
Mur ext "1"	14,95	Mur ext.
Mur Palier "2"	25,67	Mur Palier
Mur Gauguin "3"	15,13	Mur mitoyen
Mur ext "4"	17,88	Mur ext.
Vitrage "4"	9,75	Vitrage
Cloisons	65,13	Cloison légère
Portes int.	10,5	Porte intérieure
Porte entrée "2"	1,6	Porte entrée

**Tableau 2 : Description des parois verticales du logement Matisse**

### 2.2.3. Appartement Picasso

L'appartement Picasso est de type F1, pour une surface au sol de 29 m<sup>2</sup>. Il est uniquement en contact avec le palier de l'étage. Le tableau ci-après présente les parois qui le constituent.

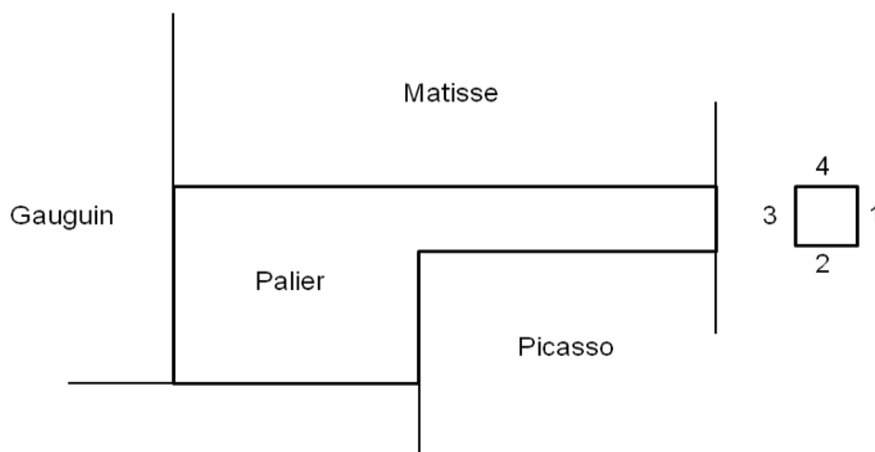


Paroi	Surface (m <sup>2</sup> )	Type de paroi
Mur ext "1"	12,5	Mur ext.
Mur ext "2"	9,69	Mur ext.
Mur ext "3"	5	Mur ext.
Mur Palier "3"	7,5	Mur ext.
Mur Palier "4"	13,04	Mur Palier
Vitrage "2"	4,88	Vitrage
Cloisons	28,05	Cloison légère
Portes int.	4,5	Porte intérieure
Porte entrée "2"	1,6	Porte entrée

**Tableau 3 : Description des parois verticales du logement Picasso**

### 2.2.4. Palier

Le palier est en contact avec tous les appartements, et il dispose également de deux parois en contact avec l'extérieur. Sa surface au sol est de 27,5 m<sup>2</sup>. Pour simplifier la modélisation, le palier inclus également la cage d'escalier, et il n'y a aucune fenêtre dans cette zone.



EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Paroi	Surface (m <sup>2</sup> )	Type de paroi
Mur extérieur "1"	2,63	Mur ext.
Mur Picasso "1"	7,50	Mur ext.
Mur Picasso "2"	13,04	Mur Palier
Mur extérieur "2"	12,75	Mur ext.
Mur Gauguin "3"	1,46	Mur Palier
Mur Gauguin "3"	6,89	Mur ext.
Mur Matisse "4"	25,67	Mur Palier
Portes entrées	4,80	Porte entrée

**Tableau 4 : Description des parois verticales de la zone « palier+cage »**

### 3. Caractérisation technique du bâtiment

Pour caractériser le bâtiment, il est nécessaire de décrire à la fois la constitution des parois et également déterminer les ponts thermiques et le niveau de renouvellement d'air. Ces éléments ont été estimés à partir de la note H-E10-1996-02908-FR.

#### 3.1. Description des matériaux utilisés

Les différentes propriétés des matériaux utilisés sont données dans le tableau ci-dessous. Elles sont tirées des données fournies par la note « H-E10-1996-02908-FR » ou issues de la bibliothèque BuildSysPro développée par EnerBAT.

Matériaux	Conductivité $\lambda$ (W/m/K)	Masse volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	chaleur spécifique $c$ (J/kg/K)
Béton	1,75	2450	920
Bois	0,14	220	2700
Complexe métallique 9	0,063	650	1950
Complexe métallique 17	0,12	650	1950
Complexe métallique 25	0,261	750	1950
Complexe métallique 45	0,957	750	1950
Étanchéité	0,23	1050	920
Fibrastyrène 40	0,04	20	1200
Fibrastyrène 44	0,044	20	1210
Plâtre	0,35	850	800
Plâtre carreaux	0,32	860	850
Polystyrène extrudé 28	0,028	35	1210
Polystyrène extrudé 30	0,03	35	1210
Polystyrène expansé 40	0,04	35	1210
Polyuréthane25	0,025	55	1400
Polyuréthane37	0,037	55	1400

**Tableau 5 : Caractéristiques des matériaux utilisés**

EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

### 3.2. Description des parois

Les caractéristiques des parois dépendent essentiellement de l'année de construction du bâtiment. Dans le cadre de la modélisation, 5 niveaux ont été retenus :

- Bâtiment construit avant 1974
- Bâtiment construit entre 1974 et 1982, répondant aux exigences de la RT 1974
- Bâtiment construit entre 1982 et 1989, répondant aux exigences de la RT 1982
- Bâtiment construit entre 1989 et 2000, répondant aux exigences de la RT 1989
- Bâtiment construit après 2000, répondant aux exigences de la RT 2000.

Pour chacun de ces cas, le type de matériau utilisé et le niveau d'isolation sont différents. Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques complètes des différentes parois utilisées, en fonction de l'année de construction. La description est effectuée de l'extérieur vers l'intérieur. (Par exemple, pour la toiture du premier bâtiment, l'isolation se trouve à l'extérieur de la pièce, au dessus du béton).

Parois Avant 1974	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)
Toiture	Étanchéité	1	Polyuréthane37	8	Béton	18	Plâtre	1
Mur extérieur	Béton	20	Plâtre	1				
Mur mitoyen	Plâtre	1	Béton	20	Plâtre	1		
Mur Palier	Béton	20	Plâtre	1				
Mur porteur	Béton	16						
Cloison légère	Carreaux plâtre	7,2						
Porte entrée	Compl. mét. 45	5						
Porte intérieure	Bois	4						
Plancher interm.	Béton	18						
Vitrage	Simple – 5,8	0,4						
Plancher Bas	Fibrastyrène 44	10	Béton	18				

**Tableau 6 : Caractéristiques des parois d'un bâtiment construit avant 1974**

Parois RT 1974	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)
Toiture	Étanchéité	1	Polyuréthane30	8	Béton	18	Plâtre	1
Mur extérieur	Béton	20	Polystyr. exp. 40	6	Plâtre	1		
Mur mitoyen	Plâtre	1	Béton	20	Plâtre	1		
Mur Palier	Béton	20	Polystyr. exp. 40	3	Plâtre	1		
Mur porteur	Béton	16						
Cloison légère	Carreaux plâtre	7,2						
Porte entrée	Compl. mét. 25	5						
Porte intérieure	Bois	4						
Plancher interm.	Béton	18						
Vitrage	Double – 4,1	1,6						
Plancher Bas	Fibrastyrène 40	10	Béton	18				

**Tableau 7 : Caractéristiques des parois d'un bâtiment type RT 1974**

<b>EDF R&amp;D</b>	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	<b>H-E13-2014-00591-FR</b> <b>Version 1.0</b>
--------------------	---	--

Parois RT 1982	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)
Toiture	Étanchéité	1	Polyuréthane25	10	Béton	18	Plâtre	1
Mur extérieur	Béton	20	Polystyr. exp. 40	6	Plâtre	1		
Mur mitoyen	Plâtre	1	Béton	20	Plâtre	1		
Mur Palier	Béton	20	Polystyr. exp. 40	3	Plâtre	1		
Mur porteur	Béton	16						
Cloison légère	Carreaux plâtre	7,2						
Porte entrée	Compl. mét. 25	5						
Porte intérieure	Bois	4						
Plancher interm.	Béton	18						
Vitrage	Double – 2,75	1,6						
Plancher Bas	Fibrastyrène 40	12	Béton	18				

**Tableau 8 : Caractéristiques des parois d'un bâtiment type RT 1982**

Parois RT 1989	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)
Toiture	Étanchéité	1	Polyuréthane25	6	Béton	18	Plâtre	1
Mur extérieur	Béton	20	Polystyr. ext. 30	8	Plâtre	1		
Mur mitoyen	Plâtre	1	Béton	20	Plâtre	1		
Mur Palier	Béton	20	Polystyr. ext. 30	4	Plâtre	1		
Mur porteur	Béton	16						
Cloison légère	Carreaux plâtre	7,2						
Porte entrée	Compl. mét. 17	5						
Porte intérieure	Bois	4						
Plancher interm.	Béton	18						
Vitrage	Double – 2,1	2						
Plancher Bas	Fibrastyrène 40	10	Béton	18				

**Tableau 9 : Caractéristiques des parois d'un bâtiment type RT 1989**

Parois RT 2000	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)	Matériau	épaisseur (cm)
Toiture	Étanchéité	1	Polyuréthane25	8	Béton	18	Plâtre	1
Mur extérieur	Béton	20	Polystyr. ext. 28	10	Plâtre	1		
Mur mitoyen	Plâtre	1	Béton	20	Plâtre	1		
Mur Palier	Béton	20	Polystyr. ext. 28	5	Plâtre	1		
Mur porteur	Béton	16						
Cloison légère	Carreaux plâtre	7,2						
Porte entrée	Compl. mét. 9	6						
Porte intérieure	Bois	4						
Plancher interm.	Béton	18						
Vitrage	Double – 2,0	2						
Plancher Bas	Fibrastyrène 40	12	Béton	18				

**Tableau 10 : Caractéristiques des parois d'un bâtiment type RT 2000**

### 3.3. Calcul des ponts thermiques

Le calcul des ponts thermiques se base sur les données de la note H-E10-1996-02908-FR. Toutefois, il a été nécessaire de les adapter, car le bâtiment modélisé diffère légèrement du bâtiment type (absence d'un second logement Matisse). Les résultats globaux sont présentés dans le tableau ci-dessous. Le calcul détaillé est disponible en annexe.

Ponts thermiques (W/K)	Av. 1974	Ap. 1974
Picasso R+0	16,62	12,84
Picasso R+1	11,26	7,48
Picasso R+2	14,59	10,81
Matisse R+0	23,25	19,39
Matisse R+1	14,59	10,73
Matisse R+2	19,27	15,41
Gauguin R+0	36,96	31,97
Gauguin R+1	23,38	18,39
Gauguin R+2	31,39	26,40
Palier R+0	5,62	7,12
Palier R+1	4,30	5,80
Palier R+2	5,68	7,18

**Tableau 11 : Récapitulatif des ponts thermiques pour chaque zone du bâtiment collectif**

### 3.4. Renouvellement d'air

Les niveaux de renouvellement d'air (infiltrations et ventilation) ont été déterminés grâce aux données fournies dans la note H-E10-1996-02908-FR. Par hypothèse, il n'y a pas de circulation d'air entre les différentes zones. Les différents niveaux d'infiltrations sont décrits dans le tableau suivant.

	Av. 1982	RT 1982	RT 1989	RT 2000
Renouvellement d'air (vol./h)	0,703	0,592	0,555	0,491
Picasso (m <sup>3</sup> /h)	50,3	42,4	39,7	35,2
Matisse (m <sup>3</sup> /h)	115,6	97,3	91,3	80,7
Gauguin (m <sup>3</sup> /h)	167,7	141,2	132,4	117,1

**Tableau 12 : Niveaux d'infiltrations en fonction de la date de construction**



## 4. Modélisation sous Modelica

Ce paragraphe a pour objectif de décrire la démarche employée pour la modélisation complète du bâtiment. Cette démarche se compose de trois étapes principales. Tout d'abord, la modélisation des appartements types, puis la constitution d'un étage type et enfin la modélisation du bâtiment complet.

### 4.1. Modélisation des appartements

Chaque appartement type (Gauguin, Matisse, Picasso, et palier) est modélisé avec le même schéma : description des parois opaques et vitrées, prise en compte du flux solaire incident, des infiltrations et des ponts thermiques, échange avec les autres zones et avec l'extérieur,...

Par exemple, pour le logement Picasso, le modèle prend la forme suivante.

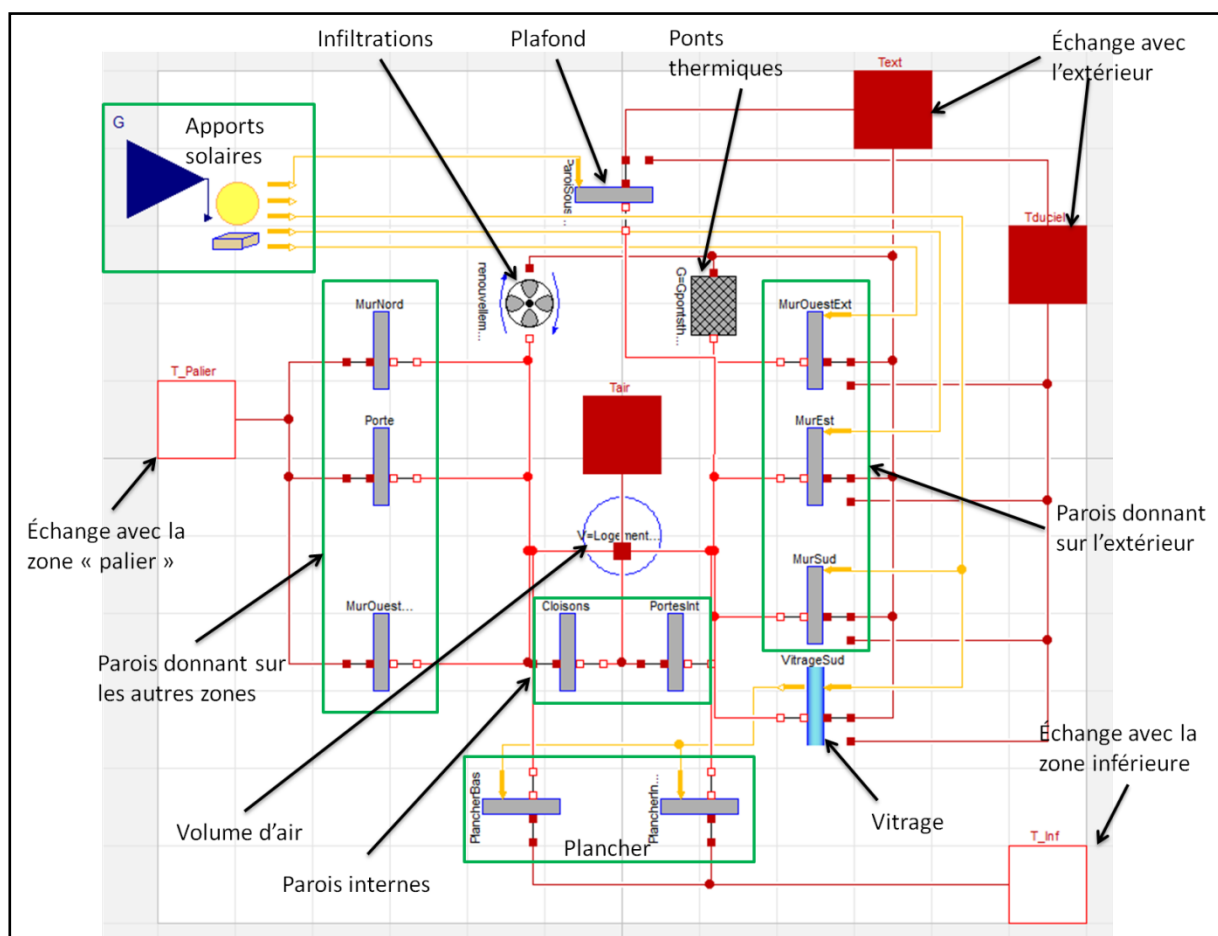


Figure 2 : Schéma du modèle de logement Picasso sous Modelica

Les paramètres généraux du modèles sont au nombre de trois :

- Le niveau d'isolation du logement (i.e. la réglementation thermique qu'il respecte)
- Sa situation dans le bâtiment (rez-de-chaussée, niveau intermédiaire ou dernier étage), qui permet de sélectionner le type de parois horizontales (plancher et plafond) utilisées.
- L'orientation du bâtiment par rapport au cas de référence.

Il est également possible de modifier certains paramètres avancés (informations sur l'initialisation notamment).

EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Pour éviter de décrire deux fois des parois mitoyennes (typiquement la paroi entre un logement Gauguin et un logement Matisse, ou les planchers intermédiaires), celles-ci ne sont décrites que dans un seul des deux modèles de logements. Le tableau ci-dessous recense l'ensemble des parois mitoyennes du bâtiment et indique dans quel modèle elles sont prises en compte.

Parois mitoyennes	Logement dans lequel la paroi est modélisée
Mur Matisse-Gauguin	Matisse
Mur Picasso-Palier	Picasso
Mur Matisse-Palier	Matisse
Mur Gauguin-Palier	Gauguin
Plancher R+0-R+1	Logements R+1
Plancher R+1-R+2	Logements R+2

## 4.2. Modélisation du palier

Concernant la modélisation du palier, deux possibilités existent : une modélisation simplifiée, dans laquelle le palier est supposé chauffé à une température constante, et une modélisation détaillée.

Dans le premier cas, le palier est alors simplement modélisé par une source de chaleur à température fixe, qui peut donc fournir ou absorber une quantité de chaleur quelconque à tout instant, pour maintenir la température fixe. Ce modèle a le mérite d'être simple, mais il implique que le palier est chauffé de façon constante en hiver, et éventuellement climatisé en été, pour maintenir la température de consigne.

La modélisation détaillée se base sur la même construction que les modèles de logements : caractérisation des parois, prise en compte des échanges interzonaux,... Dans ce cas, le palier est supposé non chauffé, i.e. seuls les transferts de chaleur via les appartements permettent de chauffer le palier.

Dans la suite de la note, les deux approches seront comparées pour déterminer leur impact sur le comportement global du bâtiment.

## 4.3. Modélisation du sous-sol

Le sous-sol est modélisé comme un local non chauffé. En supposant qu'il s'agit d'un garage, la température de cette zone est déterminée en calculant la moyenne des températures des zones du rez-de-chaussée (les 3 logements et le palier) et de la température extérieure. La formule de calcul est la suivante :

$$T_{\text{sous-sol}} = b \cdot T_{\text{ext}} + (1 - b) \cdot \frac{\sum S_{\text{zone}} \cdot T_{\text{zone}}}{\sum S_{\text{zone}}}$$

Où  $S_{\text{zone}}$  est la surface au sol de la zone, et  $T_{\text{zone}}$  sa température intérieure.

Le coefficient  $b$  dépend du niveau d'isolation et du renouvellement d'air. D'après la RT 2005, il vaut 0,2 pour un logement construit avant 1974 (non isolé), et 0,55 pour un logement construit après 1974.

## 4.4. Constitution du modèle d'étage et du modèle de bâtiment

À partir des modèles de chacune des zones décrites ci-dessus, il est possible de réaliser un modèle d'étage générique, en connectant les différents appartements.

En utilisant ce modèle générique, il est alors simple de réaliser un modèle de bâtiment complet, comme celui présenté dans la figure ci-dessous.

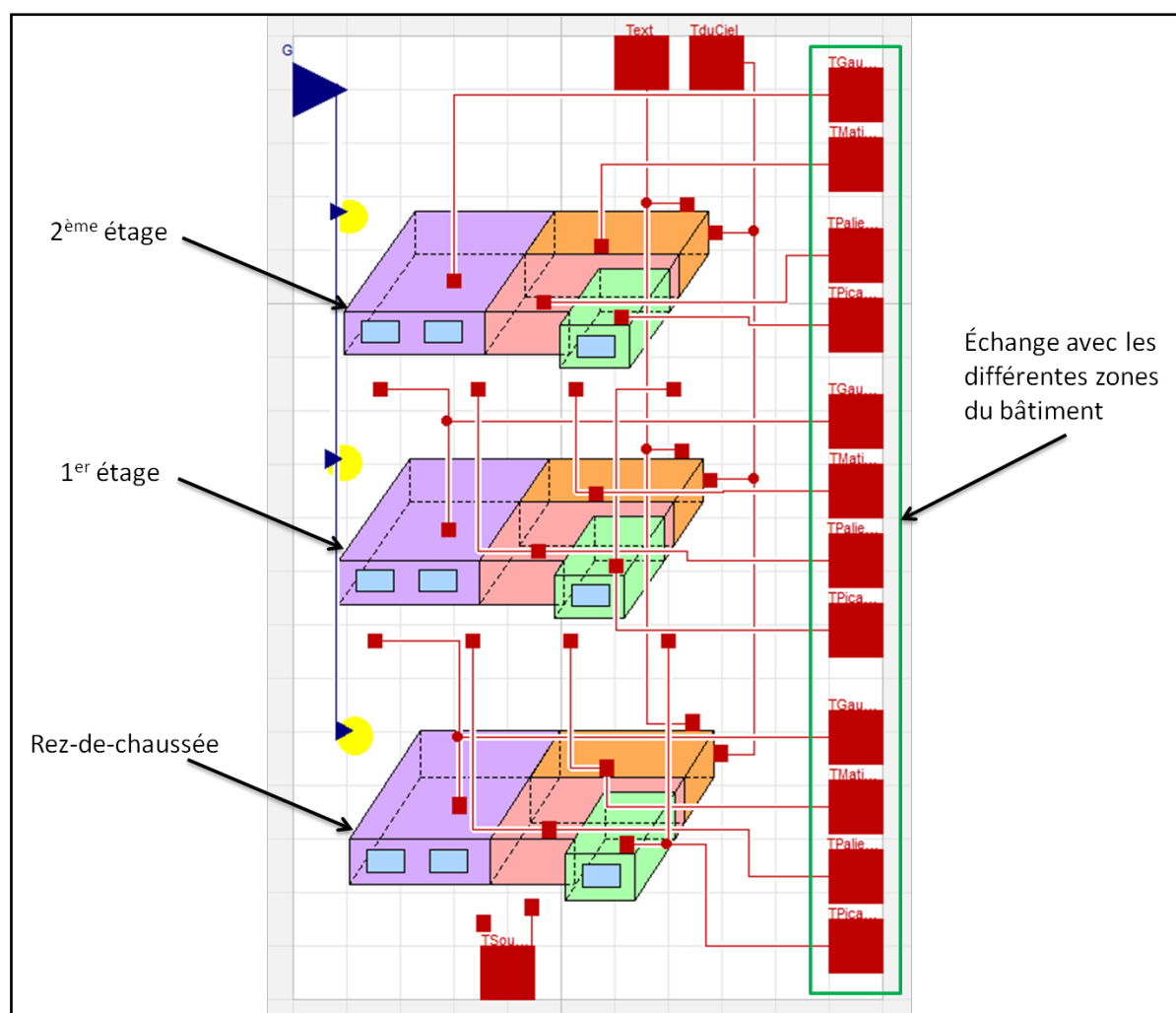


Figure 3 : Schéma du modèle de bâtiment type

## 5. Calcul de la performance thermique du bâtiment

Pour donner une estimation de la performance thermique de chacun des logements, des simulations en régime permanent ont été effectuées pour calculer le GV de chaque appartement. Le GV correspond aux déperditions du logement par degré d'écart entre les températures intérieure et extérieure. Il s'exprime en W/K.

Le GV peut être défini comme la quantité de chaleur qu'il faut fournir au logement pour le maintenir à une température de 1°C, lorsque la température extérieure est de 0°C, sans apports solaires.

### 5.1. Calcul du GV

Dans ce cas, chaque palier est modélisé comme une zone tampon chauffée constamment à la même température que les appartements. Il n'y a donc pas de déperditions entre les appartements et le palier.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous. De façon prévisible, les logements du premier niveau sont moins déperditifs que les logements extrêmes, et les déperditions diminuent à mesure que l'isolation se renforce.

EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

GV (W/K)	Avant 1974	RT 1974	RT 1982	RT 1989	RT 2000
Gauguin R+0	372,8	198,6	167,2	145,4	131,4
Gauguin R+1	352,1	166,8	138,6	113,6	102,3
Gauguin R+2	397,7	206,2	168,4	156	137
Matisse R+0	230,3	130,1	108,8	95,1	86
Matisse R+1	216,7	108,9	89,4	73,9	66,7
Matisse R+2	247,3	135,2	109,2	102,3	89,8
Picasso R+0	147,6	70,7	60,6	55,2	50,2
Picasso R+1	140,1	59,9	50,6	44,4	40,2
Picasso R+2	154,7	72,7	60,4	58	51,5

**Tableau 13 : Valeur des GV (W/K) en fonction du logement et de la date de construction**

## 5.2. Comparaison aux valeurs « de référence »

Il est intéressant de comparer les résultats obtenus à ceux mentionnés dans la note « H-E10-1996-02908-FR » qui a servi de base au travail de modélisation mené ici. Les GV de référence sont fournis dans le tableau 14, et la comparaison entre les résultats obtenus et la référence dans le tableau 15.

GV ref (W/K)	Avant 1974	RT 1974	RT 1982	RT 1989	RT 2000*
Gauguin R+0	404	198	153	155	139,5
Gauguin R+1	363	171	138	113	101,7
Gauguin R+2	409	198	146	152	136,8
Matisse R+0	203	129	107	96	86,4
Matisse R+1	172	100	80	67	60,3
Matisse R+2	202	125	99	95	85,5
Picasso R+0	145	58	47	54	48,6
Picasso R+1	130	55	46	40	36
Picasso R+2	144	58	47	53	47,7

**Tableau 14 : Valeurs des GV fournis par la note H-E10-1996-02908-FR**

(\*Pour la RT 2000, le GV est supposé égal à 90% du GV de la RT 1989)

Comp	Avant 1974	RT 1974	RT 1982	RT 1989	RT 2000
Gauguin R+0	-7,72%	0,30%	9,28%	-6,19%	-5,81%
<b>Gauguin R+1</b>	<b>-3,00%</b>	<b>-2,46%</b>	<b>0,43%</b>	<b>0,53%</b>	<b>0,59%</b>
Gauguin R+2	-2,76%	4,14%	15,34%	2,63%	0,15%
Matisse R+0	13,45%	0,85%	1,68%	-0,94%	-0,46%
<b>Matisse R+1</b>	<b>25,99%</b>	<b>8,90%</b>	<b>11,75%</b>	<b>10,30%</b>	<b>10,61%</b>
Matisse R+2	22,43%	8,16%	10,30%	7,68%	5,03%
Picasso R+0	1,79%	21,90%	28,94%	2,22%	3,29%
<b>Picasso R+1</b>	<b>7,77%</b>	<b>8,91%</b>	<b>10,00%</b>	<b>11,00%</b>	<b>11,67%</b>
Picasso R+ 2	7,43%	25,34%	28,51%	9,43%	7,97%

**Tableau 15 : Comparaison des GV calculés par rapport au GV fournis par la note de référence**

La comparaison indique des écarts importants entre les deux études, pouvant se chiffrer à près de 30%.

Toutefois, il faut relativiser ces chiffres, dans la mesure où plusieurs hypothèses ont été ajoutées au modèle de bâtiment présenté dans cette note :

- Les logements Matisse et Picasso sont davantage déperditifs, car la façade Ouest ne donne plus sur un logement, mais sur l'extérieur. La surface extérieure de ces deux logements augmente de 10 à 15% par rapport au bâtiment décrit dans la note, et les déperditions sont augmentées.
- La note H-E10-1996-02908-FR a introduit certaines particularités dans les logements Picasso et Gauguin des premier et dernier niveaux (sur-isolation du plancher, des murs extérieurs, modification des ouvrants,...) qui n'ont pas été reprises dans le modèle développé ici. Par conséquent, les écarts sur ces différents logements sont moins représentatifs.

En analysant uniquement les logements intermédiaires (Gauguin 1, Matisse 1 et Picasso 1), on constate que les écarts sont plus réalistes :

- Très peu de différence pour le logement Gauguin, dont la modélisation n'a pas changée entre les deux études
- Une erreur de 10% environ pour les logements Matisse et Picasso, principalement due à la modification de l'architecture globale du bâtiment.

## 6. Étude de l'influence de la modélisation de la zone « palier »

Le palier a été modélisé de deux façons différentes : une approche simplifiée, où le palier est supposé chauffé (ou climatisé) à une température constante, et une approche plus détaillée, où le palier est considéré comme une zone thermique à part entière, avec ses parois, ses ponts thermiques et ses infiltrations, en évolution libre.

Le présent paragraphe a pour objectif d'étudier de façon générale l'influence du choix de la modélisation sur le comportement global du bâtiment et des logements.

## 6.1. Étude des déperditions en régime permanent

Pour comparer les deux approches de modélisation, une première étude consiste à étudier les déperditions en régime permanent, via un calcul du GV. Ce calcul a été mené pour la méthode simplifiée dans le paragraphe précédent. Les tableaux ci-dessous présentent les résultats pour l'approche détaillée et la comparaison avec l'approche simplifiée.

GV (W/K)	Avant 1974	RT 1974	RT 1982	RT 1989	RT 2000
Gauguin R+0	381,7	202,7	171,4	148,7	134
Gauguin R+1	360	170,1	141,7	116,1	104,1
Gauguin R+2	406,3	209,8	171,7	158,6	138,9
Matisse R+0	251,8	140,8	118,7	103,2	92,9
Matisse R+1	237,7	119	98,8	81,4	73
Matisse R+2	270,2	146	119,1	110,4	96,4
Picasso R+0	164,9	78,3	67,7	60,9	54,9
Picasso R+1	157,3	67,2	57,4	49,8	44,6
Picasso R+2	173,4	80,5	67,7	63,9	56,2

**Tableau 16 : Valeurs des GV pour le modèle détaillé**

Comparaison	Avant 1974	RT 1974	RT 1982	RT 1989	RT 2000
Gauguin R+0	2,39%	2,06%	2,51%	2,27%	1,98%
Gauguin R+1	2,24%	1,98%	2,24%	2,20%	1,76%
Gauguin R+2	2,16%	1,75%	1,96%	1,67%	1,39%
Matisse R+0	9,34%	8,22%	9,10%	8,52%	8,02%
Matisse R+1	9,69%	9,27%	10,51%	10,15%	9,45%
Matisse R+2	9,26%	7,99%	9,07%	7,92%	7,35%
Picasso R+0	11,72%	10,75%	11,72%	10,33%	9,36%
Picasso R+1	12,28%	12,19%	13,44%	12,16%	10,95%
Picasso R+2	12,09%	10,73%	12,09%	10,17%	9,13%

**Tableau 17 : Comparaison des GV entre l'approche détaillée et l'approche simplifiée**

Le Tableau 17 indique que l'approche détaillée induit une surévaluation des déperditions par rapport à l'approche simplifiée. En effet, le palier étant non chauffé, chacun des appartements voit la surface de ses parois déperditives augmenter. Le logement Gauguin, qui dispose d'une faible surface en contact avec le palier, n'est pas très affecté par le choix de la modélisation (écart moyen : 2%), tandis que les logements Matisse et Picasso, qui disposent d'une large surface en contact avec le palier, ont un comportement très dépendant du choix de la modélisation du palier (écart moyen de 8,9% et 11,3% respectivement pour Matisse et Picasso).

## 6.2. Étude en évolution libre

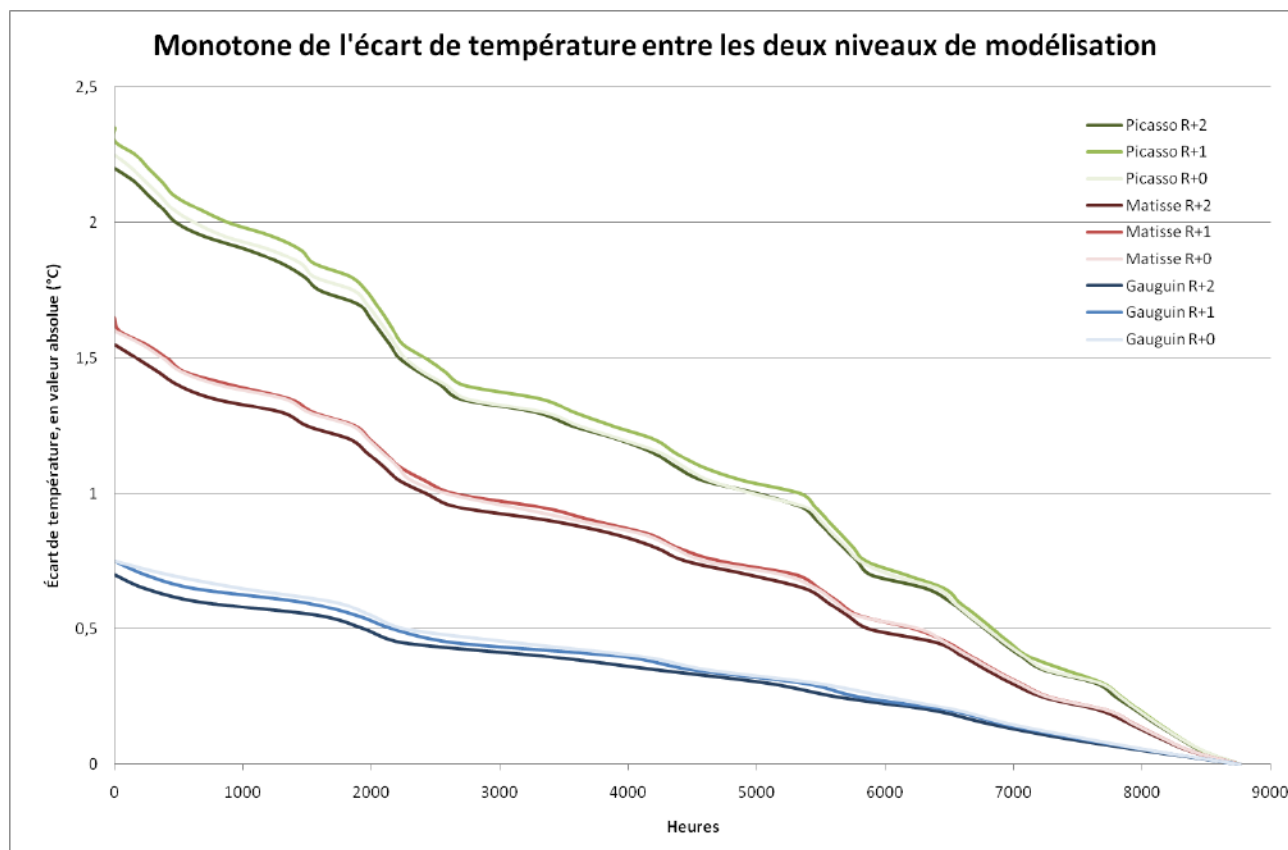
Les deux approches ont été étudiées dans le cadre d'une « évolution libre », c'est-à-dire que le comportement du bâtiment est étudié dans un environnement extérieur variable, mais sans chauffage. L'étude porte sur un bâtiment répondant aux exigences de la RT 2000, et construit à Trappes (zone climatique H1).

	$\Delta T$ maximal (°C)	$\Delta T$ moyen (°C)	Durée annuelle où $\Delta T > 0,5^\circ\text{C}$ (%)
Gauguin R+1	0,72 °C	0,24 °C	24,7%
Matisse R+1	1,6 °C	0,54 °C	70,8%
Picasso R+1	2,3 °C	0,77 °C	78,0%

**Tableau 18 : Indicateurs comparatifs dans le cas d'une étude en évolution libre**

Le tableau ci-dessus présente quelques indicateurs de comparaison des deux approches dans le cadre d'une étude en évolution libre. Le premier indicateur représente l'écart maximal de température intérieure du logement entre l'approche simplifiée (température du palier constante) et détaillée (palier en évolution libre, sans chauffage). Le second indicateur représente ce même écart, mais moyenné sur les périodes de chauffage. Enfin, le dernier indicateur présente la durée annuelle pendant laquelle l'écart de température entre les deux simulations est supérieur à  $0,5^\circ\text{C}$ .

Le graphique ci-dessous présente la monotone des écarts de température intérieure entre les deux modélisations. Ce graphe permet de renforcer les conclusions tirées du tableau précédent. En effet, on retrouve les valeurs de la dernière colonne du tableau 18 : la durée annuelle pour laquelle l'écart de température dépasse  $0,5^\circ\text{C}$  est de 2169 heures (24,7% de l'année) pour le logement Gauguin, contre 6235 (71% de l'année) et 6838 heures (78% de l'année) respectivement pour les logements Matisse et Picasso.



**Figure 4 : Monotone de l'écart de température des logements selon le niveau de modélisation**

EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Les résultats présentés viennent renforcer les conclusions du précédent paragraphe, à savoir que le niveau de modélisation n'a pas la même influence selon le logement étudié : plus la surface de contact entre le logement et le palier est importante, plus l'écart entre les deux approches est grand.

### 6.3. Étude en évolution régulée

Pour compléter l'étude comparative, une simulation du bâtiment en évolution régulée a été réalisée. Dans ce cas, chaque appartement est chauffé à une température de consigne fixe (ici 19°C), et les puissances de chauffe nécessaires sont comparées. Les résultats pour un bâtiment type RT 2000 sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	Consommation (kWh) Modélisation simplifiée	Surconsommation (kWh) Modélisation détaillée	Écart relatif (%)
Gauguin R+2	7208,94	80,22	1,11%
Gauguin R+1	4839,17	74,67	1,54%
Gauguin R+0	6062,39	112,50	1,86%
Matisse R+2	5128,33	256,47	5,00%
Matisse R+1	3665,50	240,81	6,57%
Matisse R+0	4685,08	280,33	5,98%
Picasso R+2	2612,63	171,06	6,55%
Picasso R+1	1761,92	155,43	8,82%
Picasso R+0	2088,81	177,93	8,52%

**Tableau 19 : Comparaison des deux modèles en évolution régulée**

Le tableau ci-dessus confirme les résultats précédents. Les logements Matisse et Picasso sont plus sensibles au choix de modélisation du palier que le logement Gauguin. En valeur absolue, c'est le logement Matisse qui sera le plus affecté (surconsommation de 240 à 280 kWh selon l'étage, dans le cas d'une modélisation détaillée), car il dispose d'une plus grande surface en contact avec le palier. En valeur relative en revanche, c'est le logement Picasso qui subit le plus de changements, car le ratio de la surface en contact avec le palier sur la surface déperditive totale est plus grand pour le logement Picasso que pour le logement Matisse, comme le montre le tableau ci-dessous.

	Surface donnant sur le palier (m²)	Surface donnant sur l'extérieur (m²)	Ratio (%)
Gauguin R+2	9,95	168,58	5,57%
Gauguin R+1	9,95	73,19	11,97%
Matisse R+2	27,27	108,35	20,11%
Matisse R+1	27,27	42,58	39,04%
Picasso R+2	22,14	55,29	28,59%
Picasso R+1	22,14	26,65	45,38%

**Tableau 20 : Comparaison des surfaces en contact avec le palier et l'extérieur**



EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

## 7. Conclusions et perspectives

À partir des données fournies par le « catalogue de logements types » (note H-E10-1996-02908-FR), un bâtiment collectif type a été modélisé sous Modelica, grâce aux composants de la bibliothèque BuildSysPro. Les paramètres généraux du modèle sont sa date de construction et le type de modélisation de la zone « palier ».

Le comportement du modèle a été étudié et comparé avec les résultats fournis par la note de référence. Les écarts constatés proviennent essentiellement des quelques divergences de modélisation (architecture différente, particularités non retenues,...).

Le choix de la modélisation du palier reste un élément important. Dans un premier temps, la présence ou non d'un élément de chauffage sur le palier doit permettre de guider l'utilisateur dans ce choix.

Le modèle peut être utilisé dans le cadre d'études visant les logements collectifs. Il a été conçu pour pouvoir s'adapter à tout type de chauffage, et autorise une large gamme d'études.

## 8. Annexe

### 8.1. Calcul détaillé des ponts thermiques

Les ponts thermiques sont estimés pour chaque appartement, en fonction du type de pont, de la longueur de celui-ci et de la présence ou non d'isolant. La suite du paragraphe présente le calcul des ponts thermiques linéiques pour chaque appartement.

#### 8.1.1. Appartement Picasso

L'appartement Picasso dispose de deux angles donnant sur l'extérieur, d'un mur en contact avec le palier (LNC) et perpendiculaire au mur extérieur et d'un angle « rentrant » donnant sur le palier.

Les niveaux inférieur et supérieur possèdent des ponts thermiques supplémentaires puisqu'ils sont en contact direct avec le sous-sol pour l'un et avec l'extérieur via la toiture pour le second.

Avant 1974					
Type de pont		l (m)	k (W/m.K)	Tau	k.l.Tau (W/K)
angle ext		10,00	0,13	1,00	1.30
mur ext	mur LNC	2,50	0,13	1,00	0.33
angle LNC		5,00	0,13	0,10	0.07
mur ext	plancher bas	12,90	0,25	1,00	3.23
mur ext	plancher haut	12,90	0,25	1,00	3.23
mur LNC	plancher bas	6,00	0,25	0,10	0.15
mur LNC	plancher bas	3,00	0,25	0,40	0.30
mur LNC	plancher haut	6,00	0,25	0,10	0.15
mur LNC	plancher haut	3,00	0,25	0,40	0.30
porte		5,60	0,14	0,10	0.08
fenêtres		15,30	0,14	1,00	2.14
Tous niveaux		Somme			11,26
plancher bas	sous-sol (me)	12,90	0,22	1,00	2.84
plancher bas	sous-sol (mlnc)	9,00	0,35	0,80	2.52
Supplément premier niveau		Somme			5,36
plancher haut	toiture (me)	12,90	0,23	1,00	2.97
plancher haut	toiture (mlnc)	9,00	0,04	1,00	0.36
Supplément dernier niveau		Somme			3,33

**Tableau 21 : Détail des ponts thermiques pour un logement Picasso construit avant 1974**

EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Après 1974					
Type de pont		l (m)	k (W/m.K)	Tau	k.l.Tau (W/K)
angle ext		10,00	0,00	1,00	0,00
mur ext	mur LNC	2,50	0,00	1,00	0,00
angle LNC		5,00	0,12	0,10	0,06
mur ext	plancher bas	12,90	0,25	1,00	3,23
mur ext	plancher haut	12,90	0,25	1,00	3,23
mur LNC	plancher bas	6,00	0,27	0,10	0,16
mur LNC	plancher bas	3,00	0,27	0,40	0,32
mur LNC	plancher haut	6,00	0,27	0,10	0,16
mur LNC	plancher haut	3,00	0,27	0,40	0,32
porte		5,60	0,00	0,10	0,00
fenêtres		15,30	0,00	1,00	0,00
Tous niveaux		Somme			7,48
plancher bas	sous-sol (me)	12,90	0,22	1,00	2,84
plancher bas	sous-sol (mlnc)	9,00	0,35	0,80	2,52
Supplément premier niveau		Somme			5,36
plancher haut	toiture (me)	12,90	0,23	1,00	2,97
plancher haut	toiture (mlnc)	9,00	0,04	1,00	0,36
Supplément dernier niveau		Somme			3,33

**Tableau 22 : Ponts thermiques pour un logement Picasso construit après 1974**

### 8.1.2. Appartement Matisse

Avant 1974					
Type de pont		l (m)	k (W/m.K)	Tau	k.l.Tau (W/K)
angle ext		5,00	0,13	1,00	0,65
mur ext	mur mitoyen	5,00	0,13	1,00	0,65
mur LNC	mur mitoyen	5,00	0,13	0,10	0,07
mur ext	plancher bas	17,32	0,25	1,00	4,33
mur ext	plancher haut	17,32	0,25	1,00	4,33
mur LNC	plancher bas	11,27	0,25	0,10	0,28
mur LNC	plancher haut	11,27	0,25	0,10	0,28
porte		5,60	0,14	0,10	0,08
fenêtres		28,00	0,14	1,00	3,92
Tous niveaux		Somme			14,59
plancher bas	sous-sol (me)	17,32	0,22	1,00	3,81
plancher bas	sous-sol (mlnc)	11,27	0,35	0,80	3,16
plancher bas	sous-sol (mm)	6,05	0,35	0,80	1,69
Supplément premier niveau		Somme			8,66
plancher haut	toiture (me)	17,32	0,23	1,00	3,98
plancher haut	toiture (mlnc)	11,27	0,04	1,00	0,45
plancher haut	toiture (mm)	6,05	0,04	1,00	0,24
Supplément dernier niveau		Somme			4,68

**Tableau 23 : Ponts thermiques pour un logement Matisse construit avant 1974**

EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

Après 1974					
Type de pont		l (m)	k (W/m,K)	Tau	k,l,Tau (W/K)
angle ext		5,00	0,00	1,00	0,00
mur ext	mur mitoyen	5,00	0,28	1,00	1,40
mur LNC	mur mitoyen	5,00	0,12	0,10	0,06
mur ext	plancher bas	17,32	0,25	1,00	4,33
mur ext	plancher haut	17,32	0,25	1,00	4,33
mur LNC	plancher bas	11,27	0,27	0,10	0,30
mur LNC	plancher haut	11,27	0,27	0,10	0,30
porte		5,60	0,00	0,10	0,00
fenêtres		28,00	0,00	1,00	0,00
Tous niveaux		Somme			10,73
plancher bas	sous-sol (me)	17,32	0,22	1,00	3,81
plancher bas	sous-sol (mlnc)	11,27	0,35	0,80	3,16
plancher bas	sous-sol (mm)	6,05	0,35	0,80	1,69
Supplément premier niveau		Somme			8,66
plancher haut	toiture (me)	17,32	0,23	1,00	3,98
plancher haut	toiture (mlnc)	11,27	0,04	1,00	0,45
plancher haut	toiture (mm)	6,05	0,04	1,00	0,24
Supplément dernier niveau		Somme			4,68

**Tableau 24 : Ponts thermiques pour un logement Matisse construit après 1974**

### 8.1.3. Appartement Gauguin

Avant 1974					
Type de pont		l (m)	k (W/m,K)	Tau	k,l,Tau (W/K)
angle ext		10,00	0,13	1,00	1,30
mur ext	refend	5,00	0,13	1,00	0,65
mur ext	mur mitoyen	5,00	0,13	1,00	0,65
mur LNC	angle mitoyen	7,50	0,13	0,10	0,10
mur ext	plancher bas	29,65	0,25	1,00	7,41
mur ext	plancher haut	29,65	0,25	1,00	7,41
mur LNC (cage)	plancher bas	2,83	0,25	0,40	0,28
mur LNC (palier)	plancher bas	1,22	0,25	0,10	0,03
mur LNC (cage)	plancher haut	2,83	0,25	0,40	0,28
mur LNC (palier)	plancher haut	1,22	0,25	0,10	0,03
porte		5,60	0,14	0,10	0,08
fenêtres		36,80	0,14	1,00	5,15
Tous niveaux		Somme			23,38
plancher bas	sous-sol (me)	29,65	0,22	1,00	6,52
plancher bas	sous-sol (mlnc)	4,05	0,35	0,80	1,13
plancher bas	sous-sol (mm)	6,21	0,35	0,80	1,74
refend	plancher bas	19,39	0,27	0,80	4,19
Supplément premier niveau		Somme			13,58

EDF R&D	Modélisation d'un bâtiment collectif type sous Modelica	H-E13-2014-00591-FR Version 1.0
---------	---	------------------------------------

plancher haut	toiture (me)	29,65	0,23	1,00	6,82
plancher haut	toiture (mlnc)	4,05	0,04	1,00	0,16
plancher haut	toiture (mm)	6,21	0,04	1,00	0,25
refend	plancher haut	19,39	0,04	1,00	0,78
Supplément dernier niveau		Somme			8,01

**Tableau 25 : Ponts thermiques pour un logement Gauguin construit avant 1974**

Après 1974					
Type de pont		l (m)	k (W/m,K)	Tau	k,l,Tau (W/K)
angle ext		10,00	0,00	1,00	0,00
mur ext	refend	5,00	0,28	1,00	1,40
mur ext	mur mitoyen	5,00	0,28	1,00	1,40
mur LNC	angle mitoyen	7,50	0,12	0,10	0,09
mur ext	plancher bas	29,65	0,25	1,00	7,41
mur ext	plancher haut	29,65	0,25	1,00	7,41
mur LNC (cage)	plancher bas	2,83	0,27	0,40	0,31
mur LNC (palier)	plancher bas	1,22	0,27	0,10	0,03
mur LNC (cage)	plancher haut	2,83	0,27	0,40	0,31
mur LNC (palier)	plancher haut	1,22	0,27	0,10	0,03
porte		5,60	0,00	0,10	0,00
fenêtres		36,80	0,00	1,00	0,00
Tous niveaux		Somme			18,39
plancher bas	sous-sol (me)	29,65	0,22	1,00	6,52
plancher bas	sous-sol (mlnc)	4,05	0,35	0,80	1,13
plancher bas	sous-sol (mm)	6,21	0,35	0,80	1,74
refend	plancher bas	19,39	0,27	0,80	4,19
Supplément premier niveau		Somme			13,58
plancher haut	toiture (me)	29,65	0,23	1,00	6,82
plancher haut	toiture (mlnc)	4,05	0,04	1,00	0,16
plancher haut	toiture (mm)	6,21	0,04	1,00	0,25
refend	plancher haut	19,39	0,04	1,00	0,78
Supplément dernier niveau		Somme			8,01

**Tableau 26 : Ponts thermiques d'un logement Gauguin construit après 1974**